

УДК 581.14

Д. С. Плотников, А. С. Тугбаева, А. А. Ермошин, И. С. Киселева

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620000, Россия, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51,
dmitry.plotnikov@urfu.ru

ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ ПРОРОСТКОВ *ZINNIA ELEGANS* НА ДЕЙСТВИЕ РАЗНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ МЕДИ

Ключевые слова: *Zinnia elegans*, ионы меди, длина органов, пероксид водорода, пероксидазы.

Вследствие хозяйственной деятельности, естественных процессов эрозии горных пород, возникает проблема загрязнения почвы ионами тяжелых металлов, например, меди. Избыток Cu^{2+} через гиперпродукцию активных форм кислорода (АФК) вызывает снижение интенсивности фотосинтеза и дыхания, что сопровождается уменьшением продуктивности растений [1]. Считается, что растения наиболее чувствительны к действию стрессоров на стадии проростков, что делает их удобным объектом для ранней диагностики устойчивости.

Zinnia elegans Jacq. является одним из кандидатов среди растений для использования при рекультивации почвы, загрязненной тяжелыми металлами [2]. Цель работы – изучение ответных реакций проростков *Z. elegans* на действие разных концентраций Cu^{2+} .

Семена *Z. elegans* проращивали на чашках Петри на водных растворах CuSO_4 с концентрацией 0, 25, 50, 100 и 200 мкМ/л. На 5 день после прорастания определяли всхожесть семян, на 8 день измеряли длину корешка и гипокотили, общую сухую массу. Количество H_2O_2 анализировали по Bellincampi [2], активность гваяколовой пероксидазы (ГПО, КФ 1.11.1.7) – по Chance [3] в грубом экстракте тканей корня и гипокотили в 0.05 М Tris-HCl буфере (pH 7.0). Опыт повторяли трижды ($n = 25$). Статистическую обработку данных проводили в программе STATISTICA 10 с применением *U*-критерия Манна-Уитни при $p < 0.05$. В тексте представлены среднее значение и ошибка, * – значимое отличие от контроля.

Морфологическими признаками токсичного эффекта Cu^{2+} является торможение роста, снижение длины и массы органов. При действии 25 и 50 мкМ Cu^{2+} всхожесть семян и масса проростков не изменилась (таблица). В вариантах опыта с 100 и 200 мкМ всхожесть семян снизилась на 15%, масса проростков на 15 и 16% соответственно.

Таблица

Всхожесть семян, общая масса и длина осевых органов 8-дневных проростков *Z. elegans*

Концентрация Cu^{2+} , мкМ/л	Всхожесть, %	Масса, мг	Длина корня, мм	Длина гипокотили, мм
0	84.0 ± 5.7	18.8 ± 0.9	27.3 ± 2.7	42.3 ± 1.8
25	80.4 ± 4.1	17.8 ± 0.6	$19.3 \pm 1.6^*$	40.3 ± 2.2
50	79.5 ± 3.7	16.6 ± 0.7	$16.8 \pm 1.5^*$	41.3 ± 1.9
100	$72.0 \pm 4.3^*$	$15.9 \pm 0.5^*$	$5.3 \pm 0.4^*$	$33.2 \pm 2.2^*$
200	$71.3 \pm 4.8^*$	$15.7 \pm 0.6^*$	$4.9 \pm 0.5^*$	$23.3 \pm 3.5^*$

Негативный эффект Cu^{2+} сильнее выражен в корешках, что проявилось в сокращении их линейных размеров во всех вариантах опыта. Существенное уменьшение длины (5 и 5.6 раз), побурение корешков отметили при действии высоких концентраций Cu^{2+} . Отрицательное влияние было менее выражено в гипокотиле: длина не изменилась при действии умеренных доз металла, но сократилась на 23% и 45% при 100 и 200 мкМ Cu^{2+} соответственно.

Об устойчивости растений к действию стрессоров можно судить по содержанию АФК и усилению активности ГПО. В нашем исследовании количество пероксида водорода и активность ГПО в большей степени возрастала в тканях корня, особенно при высоких концентрациях Cu^{2+} . Менее выражен эффект в гипокотиле: содержание H_2O_2 выросло в 2.7 при действии 200 мкМ, активность ГПО не изменилась во всех вариантах опыта. Повышенная продукция H_2O_2 в гипокотиле может быть связана с транслокацией Cu^{2+} в него и развитии стресса. Об этом свидетельствует также снижение линейных размеров гипокотыля.

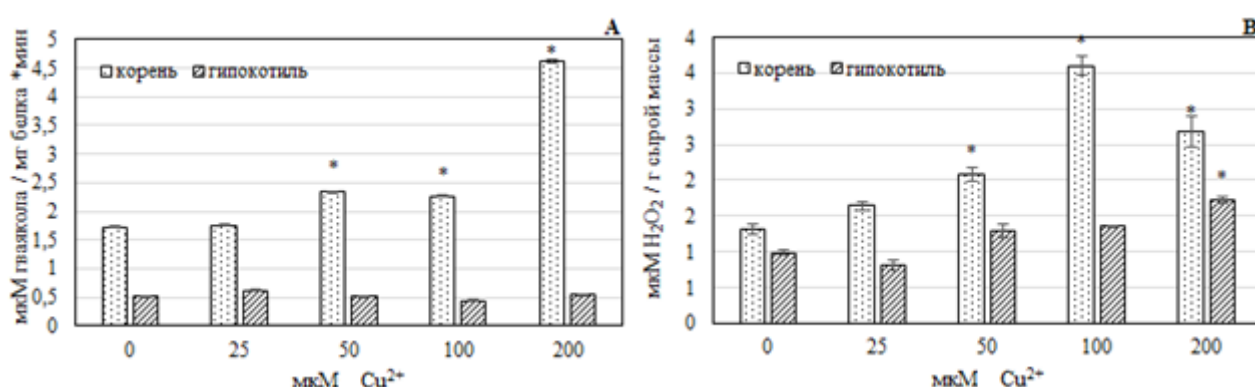


Рисунок. Активность гваяколовой пероксидазы (А) и содержание пероксида водорода (В) в проростках *Z. elegans*

Таким образом, с увеличением концентрации Cu^{2+} в среде снижение линейных размеров и биомассы *Z. elegans* становилось более явным. Стимулирующего эффекта низких концентраций не выявлено. Действие высоких концентраций (100–200 мкМ Cu^{2+}) привело к небольшому снижению всхожести семян и массы проростков, но значительному уменьшению размеров органов. Увеличивалось содержание H_2O_2 и активность ГПО в тканях корня в вариантах опыта с 50–200 мкМ Cu^{2+} . Эти изменения свидетельствуют о чувствительности проростков цинии к ионам меди и возможном использовании показателя активность ГПО в корне как маркера для ранней диагностики устойчивости растений.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 02.А03.21.0006).

Список литературы

1. Rehman M., Liu L., Wang Q. et al. // Environmental Science and Pollution Research. 2019. Vol. 26. P. 18003–18016.
2. Bellincampi D., Dipierro N., Salvi G. et al. // Plant Physiology. 2000. Vol. 122. P. 1379–1385.
3. Chance B., Maehly A. C. // Methods in Enzymology. 1955. Vol. 2. P. 764–775.